Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 535-545
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۴۵-۵۳۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد حجم حفره بذر میوه خربزه با استفاده از روش مقطع‌نگاری رایانه‌ای پرتو ایکس

مهدی آرین[۱]- مهدی خجسته پور[۲]*- محمودرضا گلزاریان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۰

چکیده

آگاهی نسبت به روند تغییرات حجم حفره بذر میوه خربزه می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی مناسب جهت انجام اموری چون کوددهی، آبیاری و غیره در طی فصل رشد میوه نماید. به منظور برآورد حجم حفره بذر میوه خربزه، *Cucumis melo* L.، دو توده محلی ارزشمند قصری و خاتونی انتخاب شد و تغییرات حفره بذر آن‌ها در طی فصل رشد، مورد مطالعه قرار گرفت. از روش مقطع‌نگاری رایانه‌ای پرتو ایکس به عنوان ابزاری دقیق و غیر مخرب در تعیین اندازه حجم حفره بذر در هر مرحله از آزمایش استفاده شد. اندازه‌گیری حجم حفره بذر در کنار عوامل درصد مواد جامد محلول، وزن مخصوص، درصد رطوبت گوشت میوه و همچنین مقدار pH در طی سه بازه زمانی ۱۵ روز و ۳۰ روز پس از گلدهی و مرحله رسیدگی کامل میوه انجام شد. نتایج پژوهش همبستگی بین عامل درصد حجم حفره بذر توده قصری با سایر عوامل را نشان داد. از طرفی کلیه عوامل یاد شده تغییرات معنی‌داری در طی سه بازه زمانی برداشت داشتند، ضمن اینکه این تغییرات تحت تاثیر نوع توده نیز قرار گرفتند، اما رابطه معنی‌داری بین برهم‌کنش دو عامل توده و مرحله برداشت مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: سی‌تی اسکن، غیر مخرب، گوشت میوه

مقدمه

خربزه (*Cucumis melo* L.) گیاهی از خانواده کدوییان (Cucurbitaceae) است. بسیاری از پژوهشگران زیستگاه اولیه این گیاه را آفریقا می‌دانند که بتدریج در ایران و مصر اهلی شده است (۲۱). مطابق با آمار فائو کشور ایران بعد از دو کشور چین و ترکیه در رتبه سوم کشت این محصول قرار دارد (۱۱). سطح زیرکشت این محصول در کشور بالغ بر ۷۴۰۳۸ هکتار معادل با ۰/۶۳ درصد از اراضی زیر کشت است که با تولیدی حدود ۱۴۹۰۰۰۰ تن معادل با ۱/۸ درصد کل محصول تولیدی کشاورزی، رتبه دوم تولید محصولات جالیزی بعد از هندوانه در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴را به خود اختصاص داده است.

میوه خربزه در طی فصل رشد از زمان ظهور گل تا رسیدگی کامل دستخوش تغییرات فیزیکی و شیمیایی زیادی می‌شود. از آنجا که این دگرگونی‌ها تاثیر مستقیم بر رسیدگی کامل و مطلوب گوشت میوه دارند (۱۵)، آگاهی نسبت به روند این تغییرات می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی مناسب جهت انجام اموری چون کوددهی، آبیاری و غیره باشد. در پژوهشی پروین و همکاران (۲۸) تاثیر مراحل مختلف رسیدگی بر کیفیت رقم Ravi خربزه تخم قند[۴]را در سه مرحله نابالغ، نیمه بالغ و بالغ مورد مطالعه قرار دادند. آنان دریافتند همبستگی بالایی میان رنگ میوه، سفتی و غلظت کل مواد جامد محلول (TSS) [۵] با مراحل مختلف رشد میوه وجود داشته که این امر بر کیفیت میوه انبار شده پس از برداشت تاثیر مستقیمی دارد. تحقیقات مشابهی توسط محققین بر روی میوه خرمالو (۲۶)، ازگیل (۱) ، میوه هوس[۶](۱۲) انجام شده است. آنان دریافتند که با افزایش مقدار وزن مخصوص ظاهری، ویژگی‌هایی چون قطر هندسی متوسط میوه، کرویت، مساحت جانبی، اسیدیته کل و درصد غلظت مواد جامد محلول کاهش می‌یابد. ضمن اینکه عوامل گوناگونی چون زمان رسیدگی، نوع رقم، آبیاری و کوددهی، کیفیت طعم میوه را تحت تاثیر مستقیم خود قرار می‌دهند (۳۰). پژوهش‌هایی که در مورد میوه طالبی انجام شده نیز نشان داده است که تغییر در محتوای قند بافت میوه بر اساس میزان کربوهیدرات‌ها و همچنین سوخت وساز متابولیکی میوه در طی فصل رشد تغییر می‌کند، ضمن اینکه آبدار شدن این محصول

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mkhpour@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.78294

4- Muskmelon
5- Total Soluble Solids
6- Gulupa Fruits

با افزایش حجم میوه افزایش داشته و در نتیجه میزان قند همبستگی مثبتی با اندازه میوه دارد (۱۳).

امروزه پژوهشگران از روش‌های متنوعی برای ارزیابی ویژگی‌های داخلی میوه و سبزیجات استفاده می‌کنند. تشدید مغناطیسی هسته (MRI)[1]، نوری، صوتی، مافوق صوت، ارتعاشی، تابش مادون قرمز و پرتو ایکس روش‌هایی از این دست می‌باشند (۶، ۲۲ و ۲۴). استفاده از پرتونگاری اشعه ایکس در بررسی کیفیت میوه‌ها و سایر محصولات کشاورزی همواره مورد توجه محققین قرار داشته است. توماس و همکاران (۳۲) توانستند با استفاده از تصویربرداری پرتو ایکس انبه هایی را که توسط حشرات از داخل آسیب دیده بودند از انبه‌های سالم جدا کنند. هاف و همکاران (۱۵) نیز الگوریتمی طراحی نمودند که با استفاده از تصاویر حاصل از پرتونگاری ایکس قادر به شناسایی زیتون های آفت زده بود. الس و همکاران (۱۰) با استفاده از این روش، سیب های دارای لکه‌های قهوه‌ای داخلی را شناسایی کردند. بارسلون و همکاران (۳) در تحقیقی که در مورد میوه هلو انجام دادند با استفاده از تصاویر سی‌تی‌اسکن تغییرات کیفی میوه هلو را در زمان‌های مختلف رسیدگی اندازه‌گیری کردند. آنها توانستند رابطه‌ای خطی بین ضریب جذب با چگالی، رطوبت، مواد جامد محلول و مقدار pH به دست آورند. میرهوفر و همکاران (۲۳) با استفاده از این روش، روند گسترش سیستم ریشه بذر چغندر قند در خاک را مورد مطالعه قرار دادند. استفاده از تصاویر سی‌تی‌اسکن به منظور تشخیص سیب‌های صدمه دیده در اثر ضربه که بافت داخلی آنها دچار لهیدگی شده بود و همچنین تعیین حجم بافت‌های صدمه دیده نیز گزارش شده است (۷ و ۳۳). کارنکارن و همکاران (۱۶) در پژوهشی روی دانه گندم توانستند با استفاده از پرتونگاری ایکس جرم دانه را تعیین کنند. کومار و بال (۱۹) برای پیدا کردن ترک در دانه برنج از تصویربرداری پرتو ایکس استفاده کردند. الگوریتم بکار گرفته شده در این مطالعه قادر بود تعداد ترک‌های افقی، عمودی، وکل ترک‌ها را به ترتیب با دقت ۹۷، ۹۸ و ۹۷ درصد محاسبه و نمایش دهد. کوتوالیویل و همکاران (۱۷) نیز از تصویر برداری پرتو x به منظور بررسی کیفی مغز گردو استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که متوسط شدت پیکسل، یک پارامتر مناسب برای تعیین کیفیت مغز گردو می‌باشد. ارینا و همکاران (۲۷) با استفاده از این روش آلودگی قارچی دانه‌های ذرت را مورد مطالعه قرار دادند. تاناکا و همکاران (۳۱) نیز از این روش به منظور مطالعه تغییرات بافت داخلی خیار در طی یک دوره ۷ روزه نگهداری، استفاده نمودند.

تاکنون پژوهشگران به منظور تعیین حجم حفره بذر از روش تعیین دستی ابعاد حفره با متر دستی و یا کولیس و تقریب بوسیله فرمول‌های ریاضی استفاده کرده‌اند (۲۰). این روش علاوه بر اینکه به صورت تقریبی حجم حفره بذر را تعیین می‌کند، مستلزم برش میوه بوده و از این لحاظ یک روش مخرب محسوب می‌شود. در این پژوهش از روش مقطع‌نگاری رایانه‌ای پرتو ایکس[2] که بر مبنای فناوری تصویربرداری پرتو ایکس بنیان نهاده شده و روشی دقیق به منظور تعیین حجم اهداف و یا آسیب‌های بافتی است، استفاده شده است. در این فناوری برخلاف تصویر نگاری معمول پرتو ایکس، قابلیت سه بعدی سازی اهداف و مطالعه دقیق بر روی آن وجود دارد.

پرتو x موج الکترو مغناطیس با طول موجی بین ۰/۰۱ تا ۱۰ نانومتر است که با انرژی پرتودهی (۱/۹۲×۱۰$^{-۱۷}$ _ ۱/۹۲×۱۰$^{-۱۴}$) ژول قادر به نفوذ در مواد مختلف است (۸). هنگامی که پرتو x به یک ماده تابانده می‌شود، مقداری از آن جذب ماده شده، مقدار کمی به اطراف انتشار یافته و باقی از ماده مربوط عبور می‌کند (۹). طبق قانون بیر – لامبرت[3] (۱) ضریب جذب خطی (μ) تحت تاثیر شدت پرتو ایکس می‌باشد (۲۹).

$$I = I_0 e^{-(\mu z)} \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

I_0= شدت اولیه پرتو ایکس (R/S) که R واحد رونتگن است،

I = شدت پرتو ایکس پس از عبور از جسم (R/S) ،

μ = ضریب جذب خطی جسم (m^{-1}) و

z = ضخامت جسم (m) می‌باشد.

به هر میزان که جسم چگالتر باشد مقدار شدت عبوری I کاهش بیشتری خواهد داشت. این مهم تاثیر مستقیمی بر تصاویر ایجاد شده از دستگاه سی‌تی‌اسکن خواهد داشت به طوری که نقاط رنگی روشنتر مربوط به قسمت‌های چگالتر میوه و نقاط تیره‌تر مربوط به قسمت‌های با چگالی کمتر است.

با توجه به بررسی به عمل آمده در میان منابع تحقیقاتی یاد شده، هدف از اجرای این تحقیق ارائه روشی است که قادر به بازرسی غیر مخرب و دقیق درون میوه خربزه باشد. در همین راستا از روش تصویربرداری رایانه‌ای پرتو ایکس در محاسبه دقیق حجم حفره بذر میوه[4] در هر مرحله رشد میوه استفاده شده است. اندازه و حجم حفره بذر از لحاظ بازارپسندی میوه اهمیت پیدا می‌کند. میوه‌هایی با حجم حفره کمتر، مطلوبیت بیشتری از نظر مصرف‌کنندگان دارند. با تعیین درصد حجم حفره بذر میوه خربزه که مستلزم تعیین حجم کل میوه و محاسبه حجم حفره بذر میوه است، ارتباط این متغیر با دوره‌های مختلف رشد میوه خربزه بررسی شد. همچنین تغییرات وزن حجمی، محتوای رطوبتی، درصد غلظت مواد جامد محلول و pH بافت خوراکی میوه خربزه خاتونی و قصری در هر مرحله از فصل رشد نیز مورد

1- Magnetic resonance imaging

2- X-ray tomography

3- Beer–Lambert law

4- Cavity

مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در انجام این تحقیق از دو توده محلی قصری و خاتونی خربزه استفاده شد. نمونه‌ها در تابستان سال ۱۳۹۶ از دو مزرعه مجاور هم از روستای آبروان با موقعیت جغرافیایی"۴۰ ′۵۸ °۵۹ شمالی و "۳۴ ′۴ °۳۶ شرقی و به ارتفاع تقریبی ۹۳۰ متر از سطح دریا واقع در ۳۲ کیلومتری مشهد، تهیه شد. با ظهور گل‌ها تعدادی از آنها پلاک‌گذاری گردید و طی سه بازه ۱۵ روزه نارس، ۳۰ روزه نابالغ و ۴۵ روزه بالغ برداشت شد (سه سطح). در نوع خاتونی چون میوه این توده نسبت به قصری زودتر به بلوغ کامل می‌رسد، زمان برداشت ۴۰ روز بعد از گلدهی درنظر گرفته شد. بافت خاک مزارع لومی شنی بوده و کشت توده‌ها به شکل جوی و پشته و به فاصله تقریبی۳ متر از هر ردیف، عرض جوی حدود ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بوته حدود ۷۰ سانتی‌متر روی پشته انجام شده است که با دور آبیاری ۷ روزه آبیاری می‌گردید. در هر مرحله از بازه‌های زمانی یاد شده، تعداد ۱۵ عدد نمونه میوه از هر رقم در طرح کاملاً تصادفی برداشت و مورد آزمایش قرار گرفتند. در این تحقیق دو عامل زمان برداشت و نوع توده به عنوان عوامل اصلی و عوامل درصد حجم حفره بذر میوه، درصد مواد جامد محلول، pH، محتوای رطوبتی و وزن حجمی گوشت میوه به عنوان عوامل فرعی مورد مطالعه قرار گرفتند.

در انجام این پژوهش از دستگاه سی‌تی‌اسکن مدل-Optima CT540 ساخت شرکت GE Healthcare آمریکا (شکل ۱) مستقر در بیمارستان مهر مشهد استفاده شد. این دستگاه قابلیت تصویرنگاری تا ۱۶ برش در هر دور را داراست.

در این دستگاه یک لامپ تولید کننده اشعه ایکس در مقابل چندین ردیف آشکار ساز اشعه قرار داده شده و با کمک یک حلقه و به طور یک مجموعه واحد به شکل چرخشی در اطراف هدف حرکت می‌کند. تمامی نمونه‌های انتخاب شده خربزه در جهت قطر طولی که بزرگترین قطر میوه است و از طرف سر به صورتی که در شکل ۱ نشان داده شده است وارد دستگاه شد. دستگاه سی‌تی‌اسکن در بدو آزمایش مطابق با داده‌های جدول ۱ تنظیم و آماده به کار شد.



شکل ۱- سی‌تی‌اسکن اپتیما مستقر در بیمارستان مهر
Figure 1- Optima CT Scan located in Mehr Hospital

تعداد کل تصویر مقطعی که بوسیله دستگاه سی‌تی‌اسکن از هر نمونه خربزه تهیه می‌شود رابطه مستقیمی با ضخامت هر برش از مقطع داشته و در نتیجه بستگی کامل به اندازه قطر بزرگ هر نمونه میوه دارد. بنابراین نمونه‌های با طول بیشتر تعداد بیشتری از تصاویر گرفته شده را به خود اختصاص داده‌اند. بسته به اندازه طول میوه تا ۴۰۰ تصویر مقطعی از هر نمونه بر روی دیسک سخت رایانه ضبط گردید. سپس تصاویر تهیه شده در نرم‌افزار پزشکی Microview نسخه ۲۱، بارگذاری شد. روند محاسبه حجم حفره بذر و همچنین حجم کل میوه خربزه به این صورت است که در ابتدا حجم کل میوه به چندین بخش حجمی کوچکتر تقسیم می‌شود. سپس حجم هر بخش محاسبه شده و در نهایت حجم کل برآورد می‌شود. سطوح مقطع مربوط به دو وجه بالایی و پایینی هر جز حجمی که در شکل ۲ نیز نشان داده شده، بوسیله کاربر بر روی تصاویر مورد نظر انتخاب می‌شود. به عنوان مثال انتخاب سطح مقطع حفره بذر در شکل ۳ الف ملاحظه می‌شود.

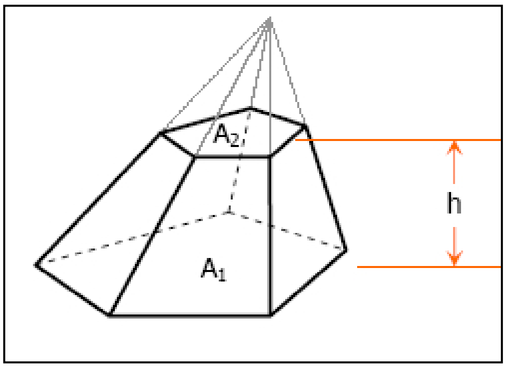
جدول ۱- مقادیر ورودی به دستگاه سی‌تی‌اسکن مدل سی‌تی۵٤۰ اپتیما

Table 1– Input values to the Optima-CT540 Scan machine

ولتاژ لامپ اشعه ایکس Tube voltage (kV)	120
شدت جریان لامپ اشعه ایکس Tube current (mA)	120
ضخامت هر برش (mm) Slice thickness (mm)	2.5
حجم وکسل Voxel volume (mm^2)	0.298
عمق رنگ Color depth (bit)	16
مقدار دوز اشعه Radiation dose (mGy)	15.22
مدت زمان تصویربرداری از هر مقطع Time exposure (mS)	1060

انتخاب در هر ۱۰ تصویر بعدی تکرار می‌شود. به عبارتی دیگر اگر انتخاب سطح مقطع در تصویر شماره n صورت گرفته این انتخاب در تصویر شماره ۱۰+ n نیز تکرار می‌شود. مقدار ۱۰ یک مقدار دلخواه و به منظور نیل به دقت بالای اندازه‌گیری است. این مقدار را می‌توان به منظور صرفه‌جویی در وقت افزایش نیز داد.

سپس رایانه بوسیله خطوطی مستقیم، سطوح مقاطع انتخاب شده را به یکدیگر متصل نموده و یک بخش حجمی به شکل هرم ناقص شبیه‌سازی می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل ۲ نشان داده شده است. حجم این بخش با توجه به رابطه ۲ محاسبه شده است:



شکل ۲- بخش حجمی شبیه‌سازی شده بین دو مقطع انتخاب شده متوالی

Figure 2 - Simulated volume section between two selected intervals

$$V = \frac{H}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \quad (۲)$$

که در این رابطه:

V= مقدار حجم بخش شبیه‌سازی شده بوسیله رایانه،

H= ارتفاع بخش حجمی،

A_1= سطح مقطع بخش واقع در تصویر شماره n و

A_2= سطح مقطع بخش واقع در تصویر شماره ۱۰+n می‌باشد.

حجم تک تک بخش‌ها بوسیله رایانه با کمک رابطه (۲) محاسبه شده و سپس با یکدیگر جمع جبری شده و در نهایت حجم هدف که در این مورد حفره بذر میوه خربزه و همچنین حجم کل میوه است، محاسبه می‌شود.

به منظور اندازه‌گیری محتوای رطوبتی (M.C) نمونه‌هایی با وزن حدود ۵۰ گرم از گوشت میوه تهیه و به مدت ۴۸ ساعت در آون با حرارت ۷۰ درجه قرار داده شد (۲). درصد محتوای رطوبتی گوشت میوه با محاسبه اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از حرارت‌دهی محاسبه گردید (۲۵). در تعیین درصد کل مواد جامد محلول (TSS) نیز در هر نمونه مقداری از عصاره گوشت میوه تهیه و درجه بریکس آن بوسیله رفرکتومتر دیجیتالی مدل DR301-95 ساخت شرکت Kruss

آلمان، در دمای ۱۸ درجه سلسیوس تعیین گردید. این رفرکتومتر مجهز به سامانه تصحیح خطای ناشی از دما می‌باشد. TSS معیاری از میزان شیرین بودن میوه است. مقدار pH عصاره هر نمونه بوسیله pH متر دیجیتالی مدل 1381-k ساخت شرکت TES در دمای ۱۸ درجه سلسیوس تعیین گردید. این دستگاه نیز مجهز به سیستم تصحیح خودکار خطای ناشی از دما می‌باشد. برای تعیین وزن مخصوص (ρ) قسمت خوراکی میوه، در ابتدا نمونه‌هایی از گوشت میوه توسط ترازوی دیجیتالی توزین شد. سپس به منظور تعیین حجم نمونه‌ها، وارد یک استوانه مدرج که دقت آن یک سانتیمتر مکعب و حاوی مایع تولوئن بود شدند. تولوئن (C_7H_8) بر خلاف آب جذب نمونه‌های آزمایش نشده (۱۴) و همچنین وزن مخصوص آن نیز از آب کمتر است، لذا نمونه‌ها بر روی سطح مایع شناور نمی‌شوند. این ویژگی موجب تعیین دقیق‌تر و سهولت خواندن حجم مایع جابه جا شده می‌شود.

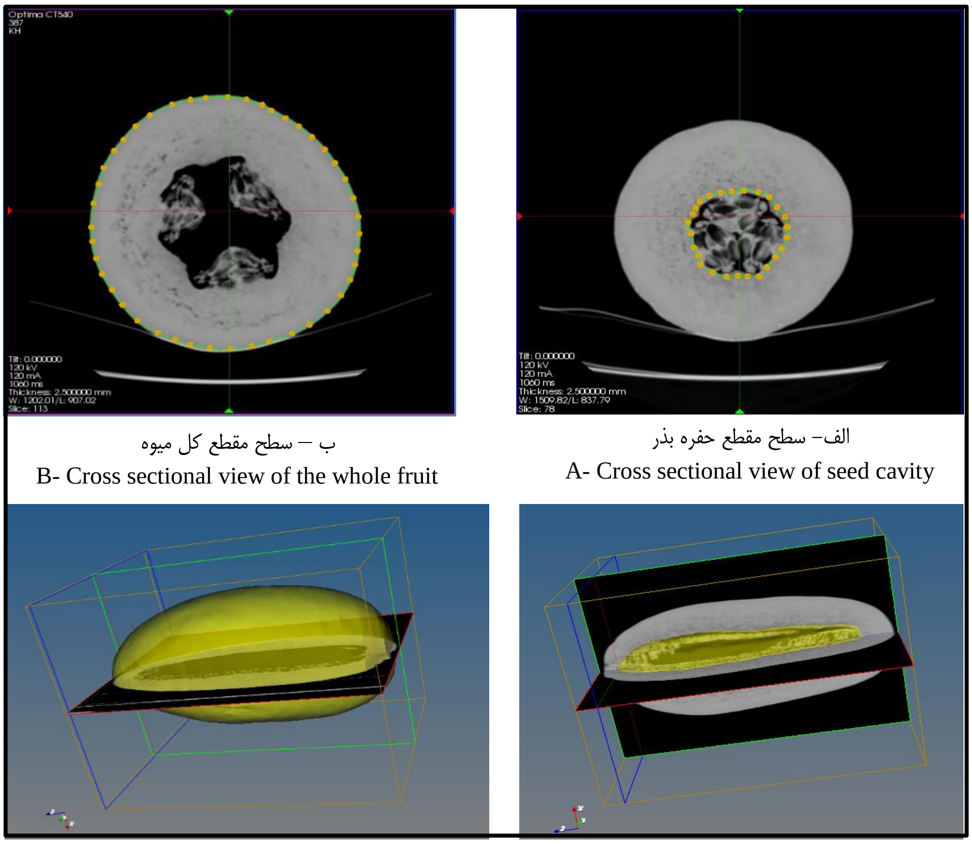
در این پژوهش، درصد حجم حفره بذر از حاصل‌ضرب عدد ۱۰۰ در حاصل تقسیم حجم حفره بذر به حجم کل هر نمونه محاسبه گردید. تغییر فاکتور کمی درصد حجم حفره بذر در کنار عواملی مانند درصد رطوبت، درصد مواد جامد محلول، وزن حجمی، و pH با تغییر همزمان دو متغیر کیفی "توده خربزه" (با دو سطح قصری و خاتونی) و متغیر اسمی "مرحله برداشت" (با سه سطح ۱۵و۳۰ روزه و رسیدگی کامل) با استفاده از آزمون فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا شد. تحلیل داده ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها بوسیله برنامه SPSS مورد بررسی قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل داده‌ها سطح معنی‌داری آماری ۱ درصد انتخاب شد. با استفاده از روش تحلیل چند متغیری MANOVA [1] نیز تاثیر کلی کمیات مورد بررسی در بین دو فاکتور مستقل توده و مرحله برداشت مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه میانگین ها نیز بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال یک درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

بخش‌های انتخاب شده از هر مقطع تصویر و همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی حجم حفره بذر و حجم میوه که بوسیله نرم‌افزار پزشکی Microview ترسیم شده در شکل۳ الف تا د قابل مشاهده است. نتایج تحلیل در جداول ۲ و ۳ آمده است.

مطابق با داده های جدول ۳ با بالغ شدن میوه و تغییر روند سنی محصول از مرحله اول به مرحله سوم با وجود این که حجم حفره بذر افزایش می‌یابد اما نرخ این میزان افزایش نسبت به افزایش حجم کلی میوه کمتر است. این امر باعث می‌شود که درصد حجم حفره بذر در طی فصل رشد، روندی نزولی داشته باشد. در این بین خربزه توده قصری که در مقایسه با توده خاتونی قطرهای جانبی بزرگتری دارد کاهش بیشتری را به خود اختصاص داده است. نمودار شکل ۴ نیز این مطلب را تایید می‌کند. با کاهش حجم حفره بذر در طی دوره رشد، مقدار درصد رطوبت و وزن مخصوص گوشت میوه کاهش می یابد. کاهش درصد رطوبت از مقدار ۹۴/۰۴ تا ۹۰/۶۱ درصد در توده قصری و از مقدار ۹۳/۵۲ تا مقدار ۸۹/۱۲ درصد در توده خاتونی به ثبت رسید که در هر مرحله رشد اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان می‌دهد. با توجه به این مهم می‌توان دریافت مرحله اول رشدی میوه خربزه، مرحله مهمی در جذب آب میوه است و لذا برنامه‌ریزی مناسب در آبیاری محصول در این مرحله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. ویل نیوا و همکاران (۳۴) در پژوهشی شامل پنج مرحله مجزا از فصل رشد گونه muskmelon دریافتند که علی رغم افزایش وزن میوه در هر مرحله رشد، مقدار درصد رطوبت کاهش می‌یابد. کاهش وزن مخصوص گوشت میوه نیز در هر مرحله اختلاف معنی‌داری را با مرحله قبل نشان می‌داد. گزارش‌ها حاکی از آن است که کاهش این مقدار از وزن مخصوص گوشت میوه از کاهش وزن مخصوص پوست میوه در طی دوره مشابه رشد نیز بیشتر بوده است (۱۸). این امر می‌تواند ناشی از بروز پدیده اسفنجی شدن بافت میوه و افزایش تخلخل در آن باشد. درصد مواد جامد محلول از مقدار کمینه ۴/۹۷ درصد در نوع خاتونی تا مقدار بیشینه ۱۲/۷۴درصد در نوع قصری در طی فصل رشد افزایش یافت. این افزایش در هر دو توده محلی مشابه و یکسان است. در مطالعات دیگر، پژوهشگران نتایجی با بیشینه مقدار بریکس ۱۵/۵ درصد در گونه muskmelon نیز گزارش شده است (۴۰). علاوه بر این، آزمایش‌ها برتری توده قصری را از لحاظ افزایش میزان قند نسبت به نوع خاتونی نشان می‌دهد. مقدار pH نیز در این آزمایش از کمینه مقدار ۴/۵۳ در نوع خاتونی تا مقدار بیشینه ۵/۹۸ در نوع قصری تغییر نموده است. پروین و همکاران (۲۸) تغییر مقدار pH را در محدوده ۵/۵۸ –۵/۳۸ در طی فصل رشد رقم Ravi ثبت کرده‌اند. با این وجود گزارش‌هایی مبنی بر کاهش تدریجی این مقدار در طی فصل رشد طالبی وجود دارد (۴). بر اساس تحقیقات بیانچی مقدار pH در محدوده‌ای بین ۶/۵–۵/۲ در ارقام مختلف ملون تغییر می‌کند (۵). تغییرات مقدار pH در هر توده می‌تواند ناشی از کاهش و یا افزایش تولید اسیدهای آلی در میوه باشد (۱۸). با توجه به این که بیشینه مقدار درجه بریکس و pH در مرحله سوم رشد میوه صورت می گیرد، مدیریت مناسب در کوددهی به مزرعه می‌تواند در تغییر این ارقام تاثیرگذار باشد.

1- Multivariate Analysis of Variance



ب – سطح مقطع کل میوه
B- Cross sectional view of the whole fruit

الف– سطح مقطع حفره بذر
A- Cross sectional view of seed cavity

د– نمای سه بعدی شبیه‌سازی شده کل میوه
D - Simulated 3D model of the whole fruit

ج– نمای سه بعدی شبیه‌سازی شده حفره بذر
C- Simulated 3D model of cavity region

شکل ۳– نمایی از سطوح مقطع انتخاب شده و تصاویر شبیه‌سازی شده نمونه‌های میوه دو توده محلی خربزه
Figure 3- Cross sectional views and simulated 3D models of a typical samples in two native melon landraces

جدول ۲– تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر فاکتور توده و مرحله برداشت بر برخی صفات فیزیولوژیکی میوه خربزه
Table 2– ANOVA (mean of squares) for the effect of landrace and harvest stage on some physiological traits of melon

منابع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **df**	درصد حجم حفره بذر **Seed cavity percentage**	درصد رطوبت **Humidity percentage**	درصد مواد جامد محلول **TSS**	وزن حجمی **Density**	**pH**
توده Landrace (A)	1	357.245**	24.283**	7.951**	0.001**	1.083**
مرحله برداشت Harvest stage (B)	2	117.774**	114.736**	390.874**	0.02**	12.526**
توده× مرحله برداشت A×B	2	3.189 ns	1.803 ns	0.107 ns	0.000096 ns	0.013 ns
خطا Error	84	1.954	0.533	0.208	0.000058	0.017
ضریب تغییرات CV (%)	-	11.6	2	33.1	2.2	10.9

** و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.
** and ns: Significant at 1% probability level and no significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عوامل مختلف در سطوح مختلف مقادیر توده و مرحله برداشت

Table 3- Comparison of means factors at different levels of cultivar and harvest stage

توده Landrace	مرحله برداشت Harvest stage	درصد حجم حفره بذر Seed cavity (%)	درصد مواد جامد محلول TSS	pH	وزن حجمی Density (g/cm3)	درصد رطوبت Humidity percent
قصری Ghasri	1	29.71 [a]	5.68 [c]	4.70 [c]	94.04 [a]	1.08 [a]
	2	27.13 [b]	9.81 [b]	5.05 [b]	92.42 [b]	1.05 [b]
	3	25.20 [c]	12.74 [a]	5.98 [a]	90.61 [c]	1.02 [c]
خاتونی Khatooni	1	24.97 [a]	4.97 [c]	4.53 [c]	93.52 [a]	1.07 [a]
	2	23.55 [b]	9.21 [b]	4.81 [b]	91.31 [b]	1.04 [b]
	3	21.55 [c]	12.27 [a]	5.73 [a]	89.12 [c]	1.02 [c]

میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

اعداد یک ،۲ و ۳ به‌ترتیب بیانگر مراحل برداشت ۱۵ و ۳۰ روزه و رسیدگی کامل می‌باشند.

Means with the same letters in each column have no significant difference based on Duncan's multiple range test (α = 0.01).
The numbers 1, 2 and 3 indicate the 15 day and 30 day harvesting stages and complete ripening stage, respectively.

جدول ٤- نتایج آزمون رگرسیون

Table 4- Results of regression Testing

توده Landrace	قصری Ghasri				خاتونی Khatooni			
متغیر وابسته Dependent variable	درصد رطوبت Humidity percentage	درصدموادجامدمحلول TSS	وزن حجمی Density	pH	درصد رطوبت Humidity percentage	درصدموادجامدمحلول TSS	وزن حجمی Humidity percent	pH
B	0.636	-1.164	0.01	-0.219	0.875	-1.163	0.009	-0.211
K	74.954	41.226	0.777	11.231	70.877	35.974	0.824	9.949
R^2	0.881	0.792	0.871	0.770	0.790	0.588	0.771	0.644
F	319.428	164.037	290.248	143.852	161.568	61.380	145.075	77.770
sig	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

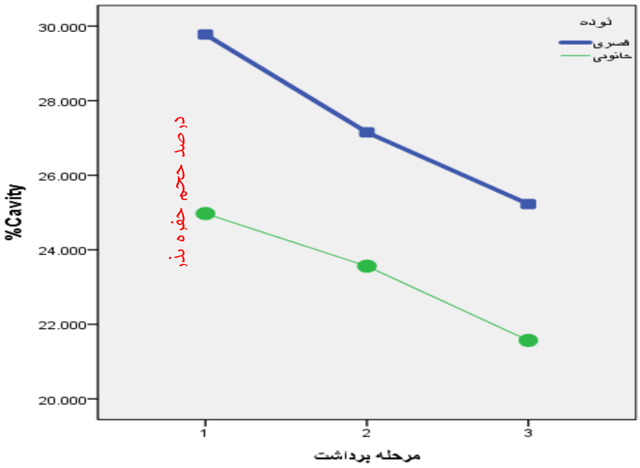
B نمایانگر ضریب متغیر مستقل "درصد حجم حفره بذر" و K بیانگر مقدار ثابت در رگرسیون خطی است.

B represents the independent variable coefficient for "Seed Cavity" and K indicates the constant value in linear regression.

جدول ٥- نتایج آزمون چند متغیره ارتباط کیفیت میوه با عوامل توده و زمان برداشت

Table 5- The results of multivariate testing on the relationships of fruit quality with landrace and harvest time

تیمار Treatment	توده Landrace		مرحله برداشت Harvesting stage	
آزمون Test	اثر پیلای Pillai's trace	لامبدای ویلکس Wilks' lambda	اثر پیلای Pillai's trace	لامبدای ویلکس Wilks' lambda
F	482.449	482.449	299.427	593.965
Sig	0.00	0.00	0.00	0.00



Harvesting Stage

شکل ٤- تغییرات درصد حجم حفره بذر در میوه دوتوده بومی خربزه

Figure 4- Variation in seed cavity (%) in two native melon fruits

نتایج آزمون رگرسیون که در جدول ۴ آمده است، همبستگی متغیرهای وابسته درصد رطوبت، درصد مواد جامد محلول، وزن حجمی و pH را با متغیر مستقل درصد حجم حفره بذر در دو توده مورد مطالعه نشان می‌دهد، اما با توجه به مقدار R^2 در توده قصری، این همبستگی قویتر می‌باشد.

مقادیر مثبت B در درصد رطوبت و وزن حجمی بیانگر همبستگی مثبت این مقادیر با درصد حجم حفره بذر و مقادیر منفی B در درصد مواد جامد محلول و pH بیانگر همبستگی منفی آنها با درصد حجم حفره بذر میوه خربزه می‌باشد. چنانچه مقادیر کمی درصد حجم حفره بذر، درصد رطوبت، مقدار pH، درصد رطوبت، وزن مخصوص و درصد مواد جامد محلول را از اجزای سازه "ویژگی کیفی میوه" در نظر بگیریم، مطابق با نتایج آزمون چند متغیره که در جدول ۵ آمده است، مشاهده می‌شود که میانگین سازه کلی ویژگی کیفی میوه در بین گروه‌های مختلف زمان‌های برداشت و همچنین در بین دو گروه مختلف توده، تفاوت معنی‌داری را دارا است. این امر با توجه به مقدار به‌دست آمده ضریب معنی‌داری (sig) از دو آزمون اثر پیلای[1] و لامبدای ویلکس[2] مشهود است. ستون آخر جدول ۲ نیز نشان می‌دهد برهمکنش معنی‌داری بین دو فاکتور توده و مرحله برداشت وجود **ندارد.**

نتیجه‌گیری

در این تحقیق درصد حجم حفره بذر در کنار ویژگی هایی چون درصد مواد جامد محلول، درصد رطوبت، وزن مخصوص، و pH که عواملی تاثیر گذار بر کیفیت و بازار پسندی میوه خربزه هستند، بررسی و روند تغییرات آنها در طی فصل رشد در دو توده شناخته شده قصری و خاتونی مورد مطالعه قرار گرفت. با مطالعه روند این تغییرات کشاورز می‌تواند کلیه مراحل رشد میوه را مدیریت کرده و با آبیاری مناسب و به‌موقع و کوددهی کافی در زمان مناسب بر کیفیت میوه تولید شده تاثیرگذار باشد و این خود می‌تواند گامی موثر در تولید محصولاتی با کیفیت بالاتر باشد. نتایج این پژوهش همبستگی متغیرهای وابسته درصد رطوبت، درصد مواد جامد محلول، وزن حجمی و pH را با متغیر مستقل درصد حجم حفره بذر در دو توده مورد مطالعه نشان داد. علاوه بر آن تاثیر آشکار دو عامل مرحله برداشت و نوع توده بر دیگر عوامل مورد آزمایش مشهود بود. در این بین استفاده از تکنیک مقطع نگاری یارانه‌ای پرتو ایکس به عنوان روشی غیر مخرب که توانایی رصد تغییرات درونی میوه را داراست، کمک شایانی به مطالعه خصوصیات درونی میوه خربزه نمود که از این روش به عنوان روشی دقیق می‌توان در بررسی دیگر محصولات کشاورزی نیز استفاده نمود.

سپاسگزاری

در پایان از جناب آقای دکتر بهرام عابدی استادیار محترم گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده در خصوص موارد علمی مرتبط و همچنین از پرسنل بخش سی‌تی‌اسکن بیمارستان مهر مشهد به خصوص آقایان روشن و حسینی که همکاری لازم را در اجرای این پژوهش داشته‌اند، قدردانی می‌شود. از معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی نیز بدلیل حمایت مالی این تحقیق که در غالب طرح پژوهشی شماره ۴۳۱۷۷ صورت گرفته تشکر می‌گردد.

1- Pillai's trace
2- Wilks' lambda

منابع

1- Altuntas E., and Bayram M. 2013. The physical, chemical and mechanical properties of medlar (*Mespilus germanica* L.) during physiological maturity and ripening period 2. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 30: 33-40.

2- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Press. Washington. DC.

3- Barcelon, E.G., Tojo, S., and Watanabe, K. 1999. X-ray CT imaging and quality detection of peach at physiological maturity. Transactions of the ASAE, 42, p. 435-441.

4- Beaulieu J.C., and Lea J.M. 2007. Quality changes in cantaloupe during growth, maturation, and in stored fresh-cut cubes prepared from fruit harvested at various maturities. Journal of American Society for Horticultural Science 132(5): 720-728.

5- Bianchi T., Guerrero L., Gratacós-Cubarsí M., Claret A., Argyris J., Gracia-Mas J., and Hortós M. 2016. Textural properties of different melon (*Cucumis melo* L.) fruit types: Sensory and physical-chemical evaluation. Scientia Horticulture 201: 46-56.

6- Cubero S., Aleixos N., Moltó E., Gómez-Sanchis J., and Blasco J. 2010. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. Food Bioprocess Technology 4: 487–504.

7- Diels E., van Dael M., Keresztes J., Vanmaercke S., Verboven P., Nicolai B., Saeys W., Ramon H., and Smeets B. 2017. Assessment of bruise volumes in apples using X-ray computed tomography. Postharvest Biology and Technology 128. 24-32.

8- Donis-Gonzaleza I.R., Guyera D.E., Peaseb A., and Fulbright D.W. 2012. Relation of computerized tomography *Hounsfield unit* measurements and internal components of fresh chestnuts (*Castanea* spp.). Postharvest Biology and Technology 64: 74-82.

9- Donis-Gonzaleza I.R., Guyera D.E., Peaseb A., and Barthel F. 2014. Internal characterization of fresh agricultural products using traditional and ultrafast electron beam X-ray computed tomography imaging. Biosystem Engineering 117: 104-113.

10- Els H., Verboven P., Bongaers E., Estrade P., Bert E., Verlinden M., and Bart M.N. 2013. Characterization of '*Braeburn*' browning disorder by means of X-ray micro-CT. Postharvest Biology and Technology 75: 114–124.

11- FAOSTAT. 2016. FAO Statistical Databases. http://www.fao.org /faostat /en /#data/QC.

12- Franco G., Cartagena V., Correa L., and Lobo A. 2013. Physical characterization of G*ulupa* fruits *(Passiflora edulis Sims)* during ripening and postharvest. Agronomía 21: 48-62.

13- Genard M., and Souty M. 1996. Modeling the peach sugar contents in relation to fruit growth. Journal of the American Society for Horticultural Science 121: 1122–1131.

14- Ghanbarian D., Shojaei Z.A., Ebrahimi A., and Yuneji S. 2007. Physical Properties and Compositional Changes of two Cultivars of *Cantaloupe* Fruit during Various Maturity Stages. Iran Agricultural Research 25(2) and 26(1-2).

15- Haff R.P., Jackson E.S., Moscetti R., and Massantini R. 2015. Detection of Fruit-fly Infestation in Olives using X-Ray Imaging: Algorithm Development and Prospects. American Journal of Agricultural Science and Technology 4(1): 33-40.

16- Karunakaran C., Jayas D.S., and White N.D.G. 2004. Mass determination of wheat kernels from X-ray images. ASAE annual international meeting, Paper number: 043120.

17- Kotwaliwale N., Weckler P.R., Brusewitz G.H., Kranzler G.A., and Maness N.O. 2007. Non-destructive quality determination of pecans using soft X-rays. Postharvest Biology and Technology 45: 372-380.

18- Koubala B.B., Bassang G., Yapo B.M., and Raihanatou R. 2016. Morphological and Biochemical Changes during Muskmelon *(Cucumis melo* var. *Tibish)* Fruit Maturation. Journal of Food and Nutrition Sciences 4(1): 18-28.

19- Kumar P.A., and Bal S. 2007. Automatic unhulled rice grain crack detection by X-ray imaging. Transactions of the ASABE 50(5): 1907-1911.

20- Liu L., Kakihara F., and Kato M. 2004. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit. Euphytica 135: 305–313.

21- Long R.L. 2005. Improving Fruit Soluble Solids Content in Melon (*Cucumis melo* L.) in the Australian Production System. Queensland University, 25- Rock Hampton, Australia.

22- Lorente D., Aleixos N., Gómez-Sanchis J., Cubero S., García-Navarrete O.L., and Blasco J. 2011. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. Food Bioprocess Technology 5: 1121–1142.

23-Mairhofer S., Pridmore T., Johnson S., Johnson J., Wells D.M., Bennett M.J., Mooney S.J., and Sturrock C.J. 2017. X-Ray Computed Tomography of Crop Plant Root Systems Grown in Soil. Current Protocols in Plant Biology 2: 270–286.

24- Milczarek R.R., Saltveit M.E., Garvey T.C., and McCarthy M.J. 2009. Assessment of tomato pericarp mechanical damage using multivariate analysis of magnetic resonance images. Postharvest Biology Technology 52: 189–195.

25- Mirzaee E., Rafiee S., and Keyhani A. 2010. Evaluation and selection of thin-layer models for drying kinetics of

apricot (cv. *NASIRY*). CIGR Journal 12(2): 111-116.

26- Nascimento L.M., Garcia L.G.C., Ogata T., Brandao D.C., Silva-Neto C.M., and Seleguini A. 2017. Physical and chemical characteristics and productivity of persimmons (*Diospyros kaki* L.) cultivated in the Brazilian savannah. Australian Journal of Crop Science AJCS 11(02): 234-240.

27- Orina I., Manley M., Kucheryavskiy S., and Williams P.J. 2018. Application of Image Texture Analysis for Evaluation of X-Ray Images of Fungal-Infected Maize Kernels. Food Analytical Methods 11(10): 2799–2815.

28- Parveen S., Ali MA,. Asghar M., Khan AR., and Salam A. 2012. Physico-chemical changes in muskmelon (*Cucumis melo* L.) as affected by harvest maturity stage. Journal of Agricultural Research 50: 249-260.

29- Renu R., and Chidanand D.V. 2013. Internal Quality Classification of agricultural produce using Non-destructive Image Processing Technologies. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology 2(4): 535-543.

30- Robertson R.W., and Decker-Walters D.S. 1999. Cucurbits. CAB International, NewYork.

31-Tanakaa F., Nashirob K., Obatakeb W., Tanakaa F., and Uchino F. 2018. Observation and analysis of internal structure of cucumber fruit during storage using X-ray computed tomography. Engineering in Agriculture, Environment and Food 11(2): 51-56

32- Thomas P., Kannan A., Degwekar V.H., and Ramamurthy M.S. 1995. Non-destructive detection of seed weevil infested mango fruits by X-ray imaging. Postharvest Biology and Technology 5: 161-165.

33- Van Dael M., Verboven P., Zanella A., Sijbers J., and Nicolai B. 2018. Combination of shape and X-ray inspection for apple internal quality control: in silico analysis of the methodology based on X-ray computed tomography. Postharvest Biology and Technology.

34- Villanueva M., Tenorio M., Esteban M., and Mendoza M. 2004. Compositional changes during ripening of two cultivars of Muskmelon fruits. Food Chemistry 87: 179-185.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 535-545
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۴۵-۵۳۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Estimation of Melon Seed Cavity Volume Using *X*-Ray Computed Tomography

M. Aryan[1]- M. Khojastehpour[2*]- M.R. Golzarian[3]
Received: 09-01-2019
Accepted: 20-09-2020

Introduction: *Cucumis melo* L. is a plant from the Cucurbitaceae family. Many researchers consider the early habitat of this plant to be African, which has gradually become domesticated in Iran and Egypt. Melon fruit has undergone many physical and chemical changes during the growing season from the flowering to the maturity. Since these changes have a direct impact on the fruitfulness of fruit juices, the knowledge of process of these changes can be helpful in farm management include fertilizers, irrigation, and so on. The use of *X*-ray radiation in study of fruits quality and other agricultural products has always been of interest to researchers. The purpose of this study is to provide a method that is able to inspect melon fruits in non-destructive and accurate.

Materials and Methods: In this research, two local populations of melon, 'Ghasri' and 'Khatooni', were used. In summer of 2017, the specimens were collected from two adjacent farms from Abrvan village with a geographical position of 59° 58′ 40″ and 36° 4′ 34″ and an approximate height of 930 m above sea level. With the advent of flowers, a number of them were plated and harvested in 15, 30 and 45 days after flowering. In the 'Khatooni' population, as the fruit reaches its full maturity earlier than the 'Ghasri', the harvesting time was considered 40 days after flowering. In this research, the Optima-CT540, CT-Scan made by GE Healthcare was used. This device can display up to 16 cuts per round. All selected melons are in the direction of longitudinal diameter, which is the largest diameter of the fruit and entered into the device on the head. The images were loaded in the Microview medical software (v. 21), and the volume of seed cavity and the total volume of melon fruit were calculated. In this research, the quantitative change factor was a percentage of cavity volume percentage (Cavity) along with factors such as moisture content percentage, soluble solids, volumetric weight, and pH, with simultaneously changing two qualitative variables of "Melon variety " (with two levels of 'Ghasri' and 'Khatooni'). The nominal variable "harvesting stage" (with three levels) was performed using multivariate analysis of variance (MANOVA) and combined with Duncan's multiple range test using SPSS (v. 24) software. Normality of data was also evaluated by the SPSS software. Data was analyzed at 1% of probability level.

Results and Discussion: The results of this study showed that as the fruit grows, the volume of seed cavity increases, but the rate of this increase is lower than the increase in total fruit volume. This causes the percentage of seed cavity to decline during the growing season. Meanwhile, there is a decrease in the amount of 'Ghasri', which has a larger lateral mass compared to the 'Khatooni'. By decreasing the volume of seed cavity during the growth period, the percentage of moisture content and specific gravity of fruit is reduced. The moisture content decreased from 94.04 to 90.61% in 'Ghasri' and from 93.52 to 89.12% in 'Khatooni', which showed a significant difference ($p \leq 0.01$) at each stage. The percentage of soluble solids increased from a minimum of 4.97% in the type of 'Khatooni' to a maximum of 12.74% in the 'Ghasri' type during the growing season, and the pH value in this experiment was from a minimum of 4.53 in the type of 'Khatooni' to the maximum value of 5.98 has changed in 'Ghasri'.

Conclusion: The results of this study showed correlation between the dependent variables of moisture content, the percentage of soluble solids, volumetric weight and pH with independent variable of seed cavity volume in 'Ghasri' population. In addition, the apparent impact of two harvesting stages and the variety on other factors was evident. In the meantime, the use of *X*-Ray Computed Tomography Techniques as a non-destructive method to observe the internal variation of the fruit has helped to study the intrinsic properties of melon fruit.

Keywords: CT scan, Fruit flesh, Nondestructive

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mkhpour@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.78294